



**Zadanie 12.** Rozważmy turniej siatkarski, w którym bierze udział 25 drużyn. Każda drużyna rozegrała z każdą dokładnie jeden mecz i nie było remisów. Niech  $w_i$  oznacza liczbę wygranych drużyny  $i$ , zaś  $p_i$  liczbę porażek drużyny  $i$  dla  $i \in \{1, 2, 3, \dots, 25\}$ . Wykazać równość:

$$w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + \dots + w_{25}^2 = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_{25}^2,$$

którą krócej możemy zapisać:

$$\sum_{i=1}^{25} w_i^2 = \sum_{i=1}^{25} p_i^2.$$

**Zadanie 13.** Oblicz długość boku  $n$ -kąta foremnego wpisanego w okrąg o promieniu 1.

**Zadanie 14.** Udowodnij, że jeśli  $a > 0$  i  $b > a + c$ , to funkcja kwadratowa  $y = ax^2 + bx + c$  ma dwa miejsca zerowe.

**Zadanie 15.** Niech dany będzie wielomian  $W(x) = x^5 + x^2 + 1$ . Liczby  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  są jego różnymi pierwiastkami (miejscami zerowymi). Oblicz wartość wyrażenia

$$(x_1^2 - 2)(x_2^2 - 2)(x_3^2 - 2)(x_4^2 - 2)(x_5^2 - 2).$$

---

**Termin: grudzień**

---

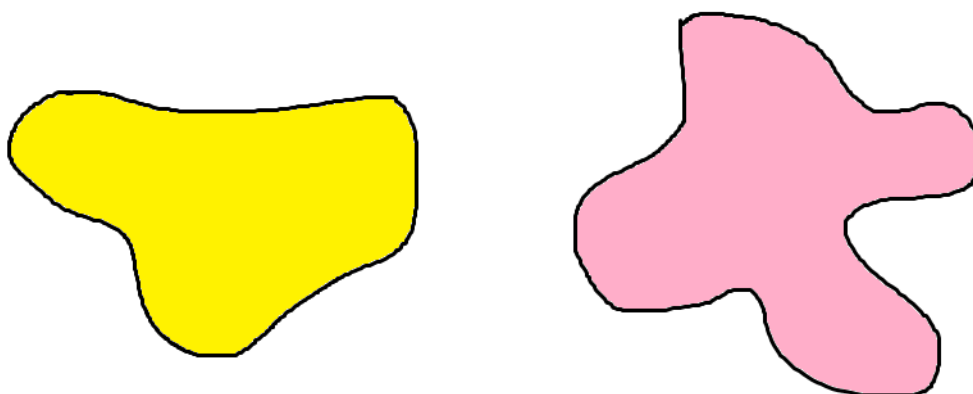
**Zadanie 16.** Określić wraz z uzasadnieniem, które z poniższych zdań są prawdziwe, a które fałszywe.

- 1)  $\forall x \in \mathbb{R} \forall y \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 2)  $\forall x \in \mathbb{R} \exists y \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 3)  $\exists x \in \mathbb{R} \exists y \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 4)  $\exists x \in \mathbb{R} \forall y \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 5)  $\forall y \in \mathbb{R} \forall x \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 6)  $\forall y \in \mathbb{R} \exists x \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 7)  $\exists y \in \mathbb{R} \exists x \in \mathbb{R} : y > x + 1$
- 8)  $\exists y \in \mathbb{R} \forall x \in \mathbb{R} : y > x + 1$

**Zadanie 17.** Pewien uczeń Sobieskiego jechał do szkoły na hulajnodze elektrycznej z prędkością 10 km/h. Z jaką prędkością powinien wracać ze szkoły, aby średnia prędkość na całej trasie (do szkoły i ze szkoły) była równa 20 km/h?

**Zadanie 18.** Oblicz  $\log(\sqrt{3 + \sqrt{5}} + \sqrt{3 - \sqrt{5}})$ .

**Zadanie 19.** Wykaż, że istnieje prosta, która dzieli dokładnie na pół (pod względem powierzchni) zarówno figurę żółtą jak i różową.



**Zadanie 20.** Z punktu  $A(2022, 2022)$  rysujemy łamaną poprzez poprowadzenie odcinka długości 1 w jednym z dowolnych czterech kierunków (pravo, lewo, góra, dół). Kontynuujemy rysowanie poprzez dorysowanie kolejnych odcinków w jednym z czterech kierunków z punktu, w którym kończy się poprzedni odcinek. Ile jest dróg długości  $n$ , które kończą się na prostej o równaniu  $y = 2022$ ?

---

**Termin: styczeń**

---

**Zadanie 21.** Pewien szachista  $S$  aby pojechać na turniej musi rozegrać trzy partie jedna po drugiej i wygrać dwie partie z rzędu. Jako przeciwników ma graczy  $A$  i  $B$ . Pierwszy z nich należy do klasy mistrzowskiej, a drugi jest początkującym amatorem. W jakiej kolejności powinien z nimi grać:  $A-B-A$ , czy  $B-A-B$ ?

**Zadanie 22.** Wiemy, że  $a + b + c < 0$  oraz równanie  $ax^2 + bx + c = 0$  jest sprzeczne. Jaki znak ma  $c$ ?

**Zadanie 23.** O godzinie 12:00 wskazówki zegara pokrywają się. O której godzinie pokryją się ponownie?

**Zadanie 24.** Wykaż, że ze środkowych w dowolnym trójkącie również można zbudować trójkąt.

**Zadanie 25.** Niech  $f, g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  oraz  $f(x) = g(x) \Leftrightarrow x \in A$ . Rozwiąż równanie  $\operatorname{sgn}(|f(x) - g(x)|) = 1$ .

---

**Termin: luty**

---

**Zadanie 26.** Rozważmy liczbę  $99!^{99!}$ .

- Ile zer ma na końcu ta liczba?
- Załóżmy, że jedna cyfra ma szerokość 2 mm i poruszamy się od końca tej liczby z prędkością światła w kierunku poprzednich cyfr. Po jakim czasie napotkamy pierwszą niezerową cyfrę?
- Jaka będzie ta pierwsza niezerowa cyfra bezpośrednio poprzedzająca ciąg zer?

**Zadanie 27.** Udowodnij, że liczba  $\sqrt{10} - \sqrt{6} - \sqrt{5} + \sqrt{3}$  jest niewymierna.

**Zadanie 28.** Czy istnieje na płaszczyźnie 2023 punkty, z których każde trzy to wierzchołki trójkąta rozwartokątnego?

**Zadanie 29.** Dla jakich  $n$  prawdziwa jest równość:

$$(-1)^1 + (-1)^2 + (-1)^3 + (-1)^4 + \dots + (-1)^n = (-1)^1 \cdot (-1)^2 \cdot (-1)^3 \cdot (-1)^4 \cdot \dots \cdot (-1)^n ?$$

**Zadanie 30.** Oblicz sumę cyfr liczby  $10^{2022} - 10^{2021} + 10^{2020} - 10^{2019} + \dots + 10^2 - 10^1$ .

---

**Termin: marzec**

---

**Zadanie 31.** Niech  $n \in \mathbb{N}_+$ . Rozwiąż układ równań: 
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + \dots + x_n = n \\ x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = n, \\ \vdots \\ x_1^n + x_2^n + \dots + x_n^n = n. \end{cases}$$

**Zadanie 32.** Prawdziwa jest równość:  $x + \frac{1}{y} = y + \frac{1}{z} = z + \frac{1}{x}$  dla parami różnych  $x, y, z$ . Oblicz  $(xyz)^{2023}$ .

**Zadanie 33.** Prawdziwa jest równość:  $x + \frac{1}{y} = y + \frac{1}{z} = z + \frac{1}{x}$  dla dodatnich  $x, y, z$ . Wykaż, że  $x = y = z$ .

**Zadanie 34.** Niech danych będzie nieskończenie wiele worków: jeden z numerem 1, jeden z numerem 2, jeden z numerem 3 itd. W worku z numerem 1 jest nieskończenie wiele kul z numerem 1, w worku z numerem 2 jest nieskończenie wiele kul z numerem 2 itd. Do dużego pudła wrzucamy dowolną skończoną liczbę kul z tych worków. Następnie wyjmujemy jedną kulę z pudełka i w jej miejsce wrzucamy dowolną skończoną liczbę kul o numerach mniejszych (jeśli wyciągniemy kulę z numerem 1, to nie dorzucamy nic, bo nie ma kul z mniejszym numerem). Jeśli zabraknie kul i opróżnimy pudełko – przegrywamy. W przeciwnym wypadku - czyli gdy kul nigdy nie zabraknie – wygrywamy. Jaki może być wynik tej gry (zawsze wygrana, zawsze przegrana, to zależy od wyboru kul)?

*Przykład: Jeśli wyciągniemy kulę z numerem 500, to w jej miejsce możemy wrzucić 10 milionów kul z numerem 499, 20 miliardów kul z numerem 450, 25 kul z numerem 100 oraz 987654321123456789 kul z numerem 498 itd.*

**Zadanie 35.** Niech  $X = \{1, 2, 3\}$ .  $Y = \{4, 5, 6\}$ . Ile jest:

- a) funkcji ze zbioru  $X$  w zbiór  $Y$ ?
- b) funkcji **rosnących** ze zbioru  $X$  w zbiór  $Y$ ?
- c) funkcji **malejących** ze zbioru  $X$  w zbiór  $Y$ ?
- d) funkcji **stałych** ze zbioru  $X$  w zbiór  $Y$ ?
- e) funkcji **różnowartościowych (iniekcji)** ze zbioru  $X$  w zbiór  $Y$ ?
- f) funkcji **na (suriekcji)** ze zbioru  $X$  w zbiór  $Y$ ?

---

**Termin: kwiecień**

---

**Zadanie 36.** Rozwiąż układ równań: 
$$\begin{cases} a^2 + b^2 + c^2 = 23 \\ a + 2b + 4c = 22 \end{cases}.$$

**Zadanie 37.** W ostrosłupie prawidłowym czworokątnym wszystkie krawędzie są długości 1. Przecinamy ten ostrosłup płaszczyzną, która przecina wszystkie krawędzie boczne. W efekcie otrzymany przekrój jest czworokątem  $ABCD$ , który nie jest trapezem. Punkt przecięcia prostych  $AB$  i  $CD$  oznaczmy  $M$ . Podaj wszystkie wartości jakie może przyjąć odległość punktu  $M$  od płaszczyzny podstawy tego ostrosłupa.

**Zadanie 38.** Niech  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ . Zbiór rozwiązań równania  $f(x) = 0$  to  $\mathbb{Q}$ . Znajdź największy możliwy zbiór rozwiązań równania:  $f([x]) + f(\{x\}) = 0$ .

**Zadanie 39.** Ojciec i syn mają razem 147 lat. Ojciec ma dwa razy tyle lat, ile syn miał wtedy, kiedy ojciec miał tyle ile syn ma teraz. Ile lat ma ojciec, a ile syn?

**Zadanie 40.** Niech  $X = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ . Znajdź wszystkie funkcje  $f : X \rightarrow X$  spełniające warunek  $\forall x, y \in X : xf(y) = yf(x)$ .

---

---

---

**Termin: maj**

---

**Zadanie 41.** Udowodnij, że poniższe zdanie jest prawdziwe:

W każdej niepustej szkole jest taki uczeń, że jeśli on zda maturę, to wszyscy zdadzą.

**Zadanie 42.** Wyprowadź wzór na długość boku  $2n$ -kąta wpisanego w okrąg o promieniu 1, jeśli znana jest długość boku  $n$ -kąta foremnego wpisanego w ten okrąg. Następnie przy pomocy tego wzoru oblicz długość boku  $64$ -kąta foremnego wpisanego w taki okrąg.

**Zadanie 43.** Rozważmy następujący ciąg liczb:

$$\begin{aligned} &25 \\ &252255 \\ &252255222555 \\ &\vdots \end{aligned}$$

w którym kolejne elementy powstają przez dopisanie do poprzedniego grupy dwójek i piątek, których jest jedna więcej niż w poprzedniej grupie, tzn. mamy po kolei: jedna 2, jedna 5, potem jedna 2, jedna 5, dwie 2, dwie 5, następnie jedna 2, jedna 5, dwie 2, dwie 5, trzy 2, trzy 5, itd.

Niech  $x_n$  oznacza  $n$ -ty wyraz tego ciągu, czyli ten, który w ostatniej grupie ma  $n$  dwójek i  $n$  piątek. Które liczby z powyższego ciągu dzielą się przez 3, a które przez 9? Ile cyfr ma liczba  $x_n$ ?

**Zadanie 44.** Rozwiąż równanie  $a=2b^2$  w zbiorze liczb naturalnych.

**Zadanie 45.** Kij o długości 1 m połamano losowo na 3 części. Oblicz prawdopodobieństwo, że z tych części da się utworzyć trójkąt.

---

**Rozwiązanie 1.** Liczymy po kolei

$$y = (10^{10})^{10^{10}} = 10^{10 \cdot 10^{10}} = 10^{10^{11}}$$

. Tak więc:

$$y^y = \left(10^{10^{11}}\right)^{10^{10^{11}}} = 10^{10^{11} \cdot 10^{10^{11}}} = 10^{10^{11+10^{11}}}.$$

A zatem liczba  $y^y$  ma  $10^{11+10^{11}} + 1$  cyfr (bo liczba  $10^k$  ma  $k + 1$  cyfr).

**Rozwiązanie 2.** Wskazówka podpowiada nam, że warto zająć się czymś, czego nie ma, czego brakuje. W powyższym ciągu „brakuje” następujących liczb: 3,5,6,9,10,12,13,15,18,20,21,23,24,25,27, 30, 31, 32,33,34,35,36,37,38,39,40,42,43. Co je łączy? Wszystkie te liczby są powiązane z trójką i piątką: są ich wielokrotnościami lub zawierają te cyfry. Tak więc następną liczbą będzie 46.

**Rozwiązanie 3.** Zauważmy, że każdą liczbę  $n$  można zapisać w postaci  $n = \frac{n^3}{n^2}$ . Zarówno licznik jak i mianownik są liczbami złożonymi, więc w podany sposób można przedstawić każdą liczbę naturalną dodatnią.

**Rozwiązanie 4.** Po przeniesieniu 4 na prawą stronę mamy iloczyn czterech liczb całkowitych równy 4. Co więcej liczby te są różne, bo  $a, b, c, d$  były różne. Liczba 4 ma łącznie 4 różne dzielniki całkowite, więc powyższy iloczyn składa się z liczb:  $-2, -1, 1, 2$ . Bez straty ogólności zachodzi więc:

$$\begin{cases} x - a = -2, \\ x - b = -1, \\ x - c = 1, \\ x - d = 2. \end{cases}$$

Dodając stronami otrzymujemy  $4x - (a + b + c + d) = 0$  skąd  $x = \frac{a + b + c + d}{4}$ .

**Rozwiązanie 5.** Rozważmy liczbę  $\sqrt{2}^{\sqrt{2}}$ . Ciężko stwierdzić, czy ta liczba jest wymierna, czy nie, ale w tej chwili nie ma to znaczenia. Są jednak dwie możliwości:

- jeśli jest ona wymierna, to znaleźliśmy takie liczby  $a$  i  $b$ , bo  $\sqrt{2} \notin \mathbb{Q}$ ,
- jeśli natomiast jest ona niewymierna, to podnosząc ją do potęgi  $\sqrt{2}$  otrzymamy liczbę wymierną, bowiem  $\left(\sqrt{2}^{\sqrt{2}}\right)^{\sqrt{2}} = \sqrt{2}^{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = \sqrt{2}^2 = 2$ .

To oznacza, że takie liczby istnieją, choć z powyższego rozumowanie nie jesteśmy w stanie wskazać, która para jest dobra.

Jest to przykład dowodu niekonstruktywnego, czyli takiego, w którym dowodzimy, że coś istnieje (np. liczba, zbiór, funkcja), jednocześnie nie podając jak ten obiekt wygląda. Co ciekawe, dopiero w roku 1930 wykazano, że liczba  $\sqrt{2}^{\sqrt{2}}$  jest niewymierna.

Wskażmy jednak istnienie takich liczb w sposób konstruktywny: są to  $\sqrt{2}$  oraz  $\log_2 9$ , bo  $\sqrt{2}^{\log_2 9} = 2^{\log_2 3} = 3$ .

**Rozwiązanie 6.** Wprowadźmy oznaczenia:

$v_1$  – prędkość Intercity,  $v_2 = 1,25v_1$  – prędkość Pendolino,  $s_1 = s_2 = s$ . Wtedy:

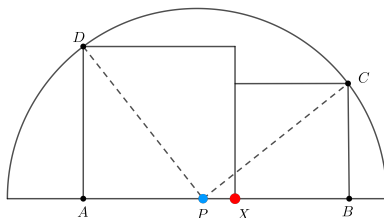
$t_1 = \frac{s}{v_1}$ ,  $t_2 = \frac{s}{1,25v_1}$ . Zatem

$$\frac{\frac{s}{v_1} - \frac{s}{1,25v_1}}{\frac{s}{v_1}} \cdot 100\% = \frac{\frac{1}{v_1} - \frac{1}{1,25v_1}}{\frac{1}{v_1}} \cdot 100\% = \frac{1 - \frac{4}{5}}{1} \cdot 100\% = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%,$$

gdzie w pierwszym kroku podzieliliśmy licznik i mianownik przez  $s$ , a w drugim pomnożyliśmy przez  $v_1$ .

**Rozwiązanie 7.** Wprowadźmy oznaczenia jak na rysunku, przy czym  $P$  jest tak wybrany na  $AB$ , że  $|AP| = |BC|$  oraz  $|PB| = |AD|$ . Z twierdzenia Pitagorasa:  $|PC| = |PD|$ . Tak więc punkt  $P$  leży na średnicy półokręgu i jest równo odległy od dwóch punktów na półokręgu. Musi być zatem środkiem tego półokręgu.

Z jednej strony  $|PC| = \sqrt{a^2 + b^2}$ , gdzie  $a, b$  to odpowiednio boki kwadratów, a z drugiej  $|PC| = r = \text{const}$ . Tak więc niezależnie od długości boków dwóch kwadratów liczba  $\sqrt{a^2 + b^2}$  jest stała, a zatem suma pól kwadratów, czyli  $a^2 + b^2$  jest stała. Punkt  $X$  można więc umieścić gdziekolwiek – szukane pole będzie zawsze wynosić tyle samo.



**Rozwiązanie 8.** Zauważmy najpierw oczywistą nierówność:  $-40x \leq -40[x]$ .

$$(2x - 3)(2x - 17) = 4x^2 - 40x + 51 \leq 4x^2 - 40[x] + 51 = 0.$$

Nierówność  $(2x - 3)(2x - 17) \leq 0$  jest spełniona przez  $x \in (\frac{3}{2}, \frac{17}{2})$ , a więc  $[x] \in ([\frac{3}{2}], [\frac{17}{2}]) = [1, 8]$ . To oznacza, że  $x$  jest liczbą dodatnią i możemy go wyznaczyć z wyjściowego równania:  $x = \frac{1}{2}\sqrt{40[x] - 51}$ .

Rozważmy po kolei przypadki:

- $[x] = 1 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{40 - 51}$  Sprzeczność,
- $[x] = 2 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{29}$ ,
- $[x] = 3 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{69}$ ,
- $[x] = 4 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{109}$ ,
- $[x] = 5 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{149}$ ,
- $[x] = 6 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{189}$ ,
- $[x] = 7 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{229}$ ,
- $[x] = 8 \Rightarrow x = \frac{1}{2}\sqrt{269}$ ,

Sprawdzając teraz, czy część całkowita otrzymanych *iksów* jest równa odpowiednim liczbom całkowitym (np. czy  $[\frac{1}{2}\sqrt{109}] = 4$ ) otrzymujemy równość tylko w czterech przypadkach, dla:  $x \in \{\frac{1}{2}\sqrt{29}, \frac{1}{2}\sqrt{189}, \frac{1}{2}\sqrt{229}, \frac{1}{2}\sqrt{269}\}$

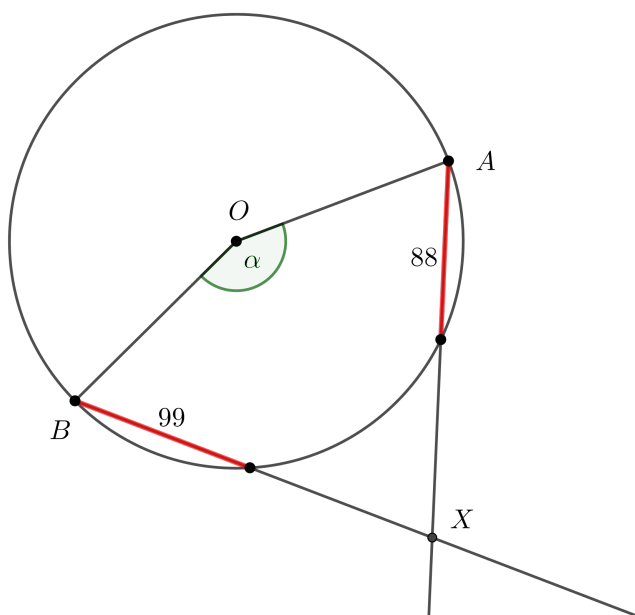
**Rozwiązanie 9.** Zauważmy, że  $a^{16} = 16$ , a zatem

$$a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^a}}}}}}}}}}}} = a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^a}}}}}}}}} = a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^{a^a}}}}}}} = \cdots = a^{a^{16}} = a^{16} = 16,$$

a więc liczba  $10^{10^{10}}$  jest znacznie większa.

**Rozwiązanie 10.** Suma wszystkich elementów zbioru  $A$  wynosi  $\frac{1+2022}{2} \cdot 2022 = 2023 \cdot 1011 = 2\,045\,253$ . Suma elementów podzbioru zbioru  $A$  będzie równa  $2\,045\,247 \Leftrightarrow$  suma elementów dopełnienia tego zbioru będzie równa  $6$ . Ale takimi podzbiórmi są jedynie  $\{6\}, \{1, 5\}, \{2, 4\}, \{1, 2, 3\}$ . Takich zbiorów jest  $4$ , a więc szukanych w zadaniu zbiorów też jest  $4$ .

**Rozwiązanie 11.** Narysujmy promienie do końców obu boków i wprowadźmy oznaczenia jak na rysunku.



Stukąt można podzielić promieniami na 100 trójkątów równoramiennych, gdzie każdy ma między ramionami kąt  $\frac{360^\circ}{100}$ . Zaznaczony na rysunku kąt  $\alpha$  jest wyznaczony przez 12 takich trójkątów – ma zatem miarę  $12 \cdot \frac{360^\circ}{100} = 43,2^\circ$ . W każdym takim trójkącie równoramiennym kąt przy podstawie ma miarę  $\left(180^\circ - \frac{360^\circ}{100}\right) : 2 = 88,2^\circ$ . Jest to więc miara kąta  $OAX$  oraz  $OBX$ . Zatem z sumy kątów w czworokącie  $\sphericalangle AXB = 360^\circ - 43,2^\circ - 2 \cdot 88,2^\circ = 140,4^\circ$ . Tak więc proste przecinają się pod kątem  $140,4^\circ$  (lub  $39,6^\circ$  gdy chcemy mieć kąt ostry).

**Rozwiązanie 12.** Zauważmy, że  $\sum_{i=1}^{25} w_i = \sum_{i=1}^{25} p_i$ , bo każdemu zwycięstwu odpowiada dokładnie jedna porażka. Rozpiszmy:

$$\sum_{i=1}^{25} w_i^2 - \sum_{i=1}^{25} p_i^2 = \sum_{i=1}^{25} (w_i^2 - p_i^2) = \sum_{i=1}^{25} (w_i - p_i)(w_i + p_i) = \dots$$

Wiemy ponadto, że dla każdego  $i$  zachodzi  $w_i + p_i = n - 1$  (bo to liczba gier każdego gracza). Tak więc:

$$\dots = \sum_{i=1}^{25} (w_i - p_i)(n-1) = (n-1) \sum_{i=1}^{25} (w_i - p_i) = (n-1) \left( \sum_{i=1}^{25} w_i - \sum_{i=1}^{25} p_i \right) = (n-1) \cdot 0 = 0.$$

Przenosząc na drugą stronę otrzymujemy tezę.

**Rozwiązanie 13.** Z twierdzenia cosinusów

$$x^2 = 1 + 1 - 2 \cos \left( \frac{360^\circ}{n} \right).$$

Zatem

$$x = \sqrt{2 - 2 \cos \left( \frac{360^\circ}{n} \right)} = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \left( 2 \cdot \frac{180^\circ}{n} \right)} = \sqrt{2} \sqrt{2 \sin^2 \frac{180^\circ}{n}} = 2 \left| \sin \frac{180^\circ}{n} \right| = 2 \sin \frac{180^\circ}{n},$$

gdzie skorzystaliśmy ze wzoru  $1 - \cos 2x = 2 \sin^2 x$  oraz faktu, że kąt  $\frac{180^\circ}{n}$  należy do pierwszej ćwiartki.

**Rozwiązanie 14.** Rozważmy dwa przypadki:

- Jeśli  $c < 0$ , to  $-c > 0$ . Wtedy  $\Delta = b^2 - 4ac = b^2 + 4a \cdot (-c) > 0$ , a więc są dwa rozwiązania.
- Jeśli  $c \geq 0$ . Wtedy  $a + c > 0$  oraz  $\Delta = b^2 - 4ac > (a + c)^2 - 4ac = a^2 - 2ac + b^2 = (a - c)^2 \geq 0$ , a więc  $\Delta > 0$ .

**Rozwiązanie 15.** Skoro wielomian ma 5 pierwiastków i jest stopnia 5, to możemy go zapisać w postaci  $x^5 + x^2 + 1 = (x - x_1)(x - x_2)(x - x_3)(x - x_4)(x - x_5)$ . Podstawiając  $x = \sqrt{2}$  oraz  $x = -\sqrt{2}$  otrzymujemy:

$$3 + 4\sqrt{2} = (\sqrt{2} - x_1)(\sqrt{2} - x_2)(\sqrt{2} - x_3)(\sqrt{2} - x_4)(\sqrt{2} - x_5)$$

oraz

$$3 - 4\sqrt{2} = (-\sqrt{2} - x_1)(-\sqrt{2} - x_2)(-\sqrt{2} - x_3)(-\sqrt{2} - x_4)(-\sqrt{2} - x_5).$$

Wyciągając znaki „-” przed nawiasy z drugiego wyrażenia, a następnie mnożąc powyższe dwie równości stronami otrzymujemy:

$$(3 + 4\sqrt{2})(3 - 4\sqrt{2}) = -(\sqrt{2} - x_1)(\sqrt{2} - x_2)(\sqrt{2} - x_3)(\sqrt{2} - x_4)(\sqrt{2} - x_5)(\sqrt{2} + x_1)(\sqrt{2} + x_2)(\sqrt{2} + x_3)(\sqrt{2} + x_4)(\sqrt{2} + x_5).$$

Stosując wzory skróconego mnożenia po obu stronach otrzymujemy

$$9 - 32 = -(2 - x_1^2)(2 - x_2^2)(2 - x_3^2)(2 - x_4^2)(2 - x_5^2).$$

Wyciągając ponownie minusy przed nawiasy po prawej otrzymujemy, że szukana wartość to  $-23$ .

**Rozwiązanie 16.** 1) fałsz np. dla  $x = 1, y = 2$ .

2) prawda, ponieważ dla dowolnego  $x$  możemy przyjąć  $y := x + 2$

3) prawda np. dla  $x = 2, y = 5$

4) fałsz, ponieważ gdyby taki  $x$  istniał, to wzięlibyśmy  $y := x$  i byłoby  $x > x + 1$  – sprzeczność.

5) fałsz np. dla  $x = 6, y = 5$

6) prawda, ponieważ dla dowolnego  $y$  możemy przyjąć  $x := y - 3$

7) prawda, np. dla  $x = 3, y = 5$

8) fałsz, ponieważ gdyby taki  $y$  istniał, to wzięlibyśmy  $x := y$  i byłoby  $y > y + 1$  – sprzeczność.

**Rozwiązanie 17.** Wprowadźmy oznaczenia:

$v_1 = 10 \frac{m}{s}$  – prędkość do szkoły,  $v_2$  – prędkość ze szkoły,  $s_1 = s_2 = s$ . Wtedy:

$$v_{sr} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{2s}{\frac{s}{10} + \frac{s}{v_2}} = 20$$

Skracając  $s$  otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{v_2}} &= 20. \\ 2 &= 20 \left( \frac{1}{10} + \frac{20}{v_2} \right) \\ 2 &= 2 + \frac{20}{v_2} \\ 0 &= \frac{1}{v_2}, \end{aligned}$$

a zatem prędkość powrotna musiałaby być nieskończenie duża. Tak więc szukana prędkość nie istnieje.

**Rozwiązanie 18.** Niech  $\log(\sqrt{3 + \sqrt{5}} + \sqrt{3 - \sqrt{5}}) = x$ . Z definicji:

$$\begin{aligned} 10^x &= \sqrt{3 + \sqrt{5}} + \sqrt{3 - \sqrt{5}} \quad |^2 \\ 10^{2x} &= 3 + \sqrt{5} + 2\sqrt{(3 + \sqrt{5})(3 - \sqrt{5})} + 3 - \sqrt{5} \\ 10^{2x} &= 6 + 2\sqrt{9 - 5} \\ 10^{2x} &= 6 + 4 \\ 10^{2x} &= 10 \end{aligned}$$

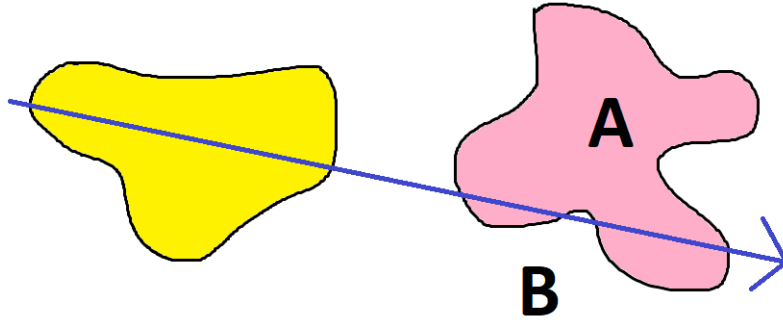


z różnowartościowości:

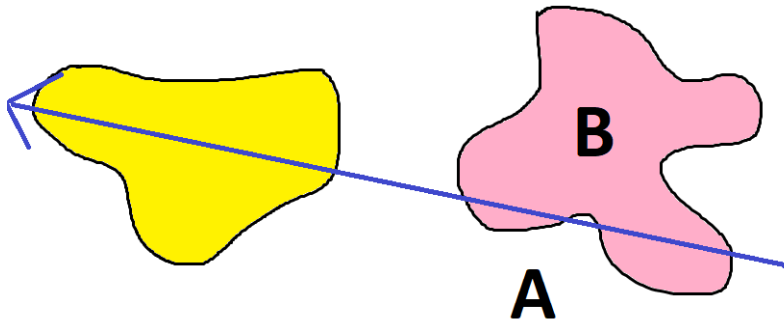
$$2x = 1$$

$$x = \frac{1}{2}$$

**Rozwiązanie 19.** Narysujmy dowolną prostą, która dzieli żółtą figurę na dwie części o tym samym polu oraz wybierzmy jej zwrot (zaznaczony strzałką). Narysowana prosta podzieliła różową figurę na dwie części:  $A$  po lewej i  $B$  po prawej. Oczywiście jedna z części  $A$  lub  $B$  może być pusta.



Bez straty ogólności  $\text{pole}(A) \neq \text{pole}(B)$ . Zmieniamy następnie nachylenie prostej (obracając ją o kąt np. zgodnie z ruchem wskazówek zegara) i ponownie otrzymujemy podział różowej figury na dwie części i tak samo oznaczamy je  $A$  i  $B$ . W pewnym momencie otrzymamy obrót o  $180^\circ$ . Prosta ta pokryje się z naszą wyjściową prostą, tylko będzie mieć zwrot w drugą stronę.



Strzałka wskazuje kierunek przeciwny, więc części  $A$  i  $B$  zamieniły się miejscami. Na początku  $\text{pole}(A) \neq \text{pole}(B)$ , a więc teraz  $\text{pole}(B) \neq \text{pole}(A)$ . Pole zmienia się wraz z obrotem w sposób ciągły, a więc skoro najpierw różnica pól była dodatnia, a potem ujemna, to gdzieś pomiędzy musi istnieć obrót o taki kąt, że pola są równe<sup>1</sup>

Zadanie to jest dwuwymiarową wersją twierdzenia o kanapce z szynką i serem (które jest w trójwymiarze), mówiącego, że dowolną kanapkę z szynką i serem można przeciąć jednym cięciem tak, aby w każdej z dwóch części było dokładnie tyle samo sera, szynki i chleba.

**Rozwiązanie 20.** Wprowadźmy oznaczenia:

- ruch w lewo: 01
- ruch w prawo 10
- ruch w górę: 11
- ruch w dół: 00

Wykonamy  $n$  ruchów, więc utworzymy ciąg długości  $2n$  składający się z cyfr 0 i 1. Skoro zaczynamy „na wysokości” 2022 i na niej chcemy skończyć, to interesują nas takie drogi, w których jest tyle samo ruchów w górę co w dół. Szukamy więc ciągów, w których jest tyle samo jedynek co zer, czyli po  $n$ . Wystarczy więc wybrać, na których z  $2n$  miejsc ma stanąć  $n$  jedynek. Można to zrobić na  $\binom{2n}{n} = \frac{(2n)!}{n! \cdot n!}$  możliwości.

<sup>1</sup>Formalnie korzysta się tutaj z własności Darboux, która mówi, że jeśli funkcja jest ciągła oraz przyjmuje dla jakiegoś argumentu wartość dodatnią i dla jakiegoś ujemną, to między tymi argumentami jest taki, dla którego wartość funkcji jest równa 0. Tutaj naszą funkcją jest różnica  $\text{pole}(A) - \text{pole}(B)$ .

**Rozwiązanie 21.** Niech  $p_A$  oznacza prawdopodobieństwo zwycięstwa z bokserem  $A$ , zaś  $p_B$  prawdopodobieństwo zwycięstwa z bokserem  $B$ . Oczywiście  $p_A < p_B$ . Prawdopodobieństwa porażki wynoszą wtedy odpowiednio  $1 - p_A$  oraz  $1 - p_B$ . W obu kolejnościach walk są trzy przypadki wygranej dwóch partii z rzędu: wygrana wszystkich trzech partii, wygrana pierwszej i drugiej partii, wygrana drugiej i trzeciej partii.

Wybór  $A - B - A$

- trzy wygrane – prawdopodobieństwo:  $p_A \cdot p_B \cdot p_A$
- wygranie pierwszych dwóch – prawdopodobieństwo:  $p_A \cdot p_B \cdot (1 - p_A)$
- wygranie ostatnich dwóch – prawdopodobieństwo:  $(1 - p_A) \cdot p_B \cdot p_A$

Sumując te trzy opcje otrzymujemy, że prawdopodobieństwo wygrania dwóch partii z rzędu wynosi  $p_A \cdot p_B \cdot (2 - p_A)$ .

Wybór  $B - A - B$

- trzy wygrane – prawdopodobieństwo:  $p_B \cdot p_A \cdot p_B$
- wygranie pierwszych dwóch – prawdopodobieństwo:  $p_B \cdot p_A \cdot (1 - p_B)$
- wygranie ostatnich dwóch – prawdopodobieństwo:  $(1 - p_B) \cdot p_A \cdot p_B$

Sumując te trzy opcje otrzymujemy, że prawdopodobieństwo wygrania dwóch partii z rzędu wynosi  $p_A \cdot p_B \cdot (2 - p_B)$ .

Porównując te dwa prawdopodobieństwa, większe jest w przypadku pierwszym, czyli kolejności  $A - B - A$ . Szachista  $S$  powinien więc rozegrać dwie partie z graczem z klasy mistrzowskiej i tylko jedną z amatorem.

**Rozwiązanie 22.** Niech  $f(x) := ax^2 + bx + c$ . Wiemy, że  $a + b + c = f(1) < 0$ .

- Jeśli  $a \neq 0$ , to wykresem  $f$  jest parabola. Funkcja ta nie ma miejsc zerowych, więc cały jej wykres znajduje się pod osią  $Ox$ , co oznacza, że  $\forall x : f(x) < 0$ . W szczególności  $f(0) = c < 0$ .
- Jeśli  $a = 0$ , to  $f$  jest funkcją liniową stałą i  $f(1) < 0$ , zatem cały jej wykres (linia prosta) jest pod osią  $Ox$ , w szczególności  $f(0) = c < 0$ .

**Rozwiązanie 23.** Oczywiście jest, że wskazówki spotkają się zaraz po godzinie pierwszej. Oznaczmy przez  $x$  liczbę minut, które upłyną od godziny 1 : 00 do momentu spotkania wskazówek.

Tarcza zegara jest podzielona na 60 minut, tak więc wskazówka minutowa w ciągu jednej minuty wykona obrót o  $\frac{360^\circ}{60} = 6^\circ$ . Wskazówka godzinowa obróci się w tym czasie o  $\frac{1}{12} \cdot \frac{360^\circ}{60} = \left(\frac{1}{2}\right)^\circ$ . Po pokonaniu pełnego obrotu przez wskazówkę minutową, musi ona przebyć jeszcze pewną drogę do spotkania ze wskazówką godzinową. O godzinie 1 : 00 kąt pomiędzy wskazówkami wynosi  $30^\circ$ . Możemy ułożyć więc równanie:

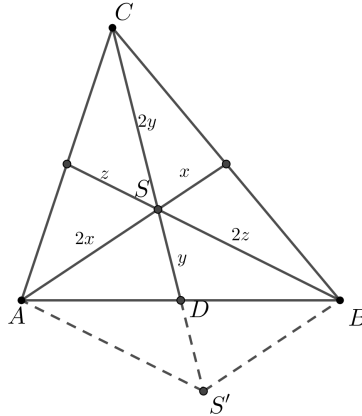
$$x \cdot 6^\circ - \left(\frac{1}{2}\right)^\circ x = 30^\circ.$$

$$5,5^\circ x = 30^\circ$$

$$x = \frac{300}{55} = \frac{60}{11} = 5\frac{5}{11}$$

Wskazówki pokryją się ponownie po 1 h i  $5\frac{5}{11}$  min, czyli około godziny 1 : 05 : 27.

**Rozwiązanie 24.** Rozważmy trójkąt  $ABC$  ze środkowymi długości  $3x, 3y, 3z$ . Środkowe przecinają się w stosunku 2 : 1 licząc od wierzchołka. Niech  $S'$  będzie obrazem punktu  $S$  w symetrii środkowej względem środka boku  $AB$  (zob. rysunek). Czworokąt  $AS'BS$  jest równoległobokiem, ponieważ przekątne połowią się. Zatem  $|AS'| = 2z$  oraz  $|SS'| = 2x$ . Trójkąt  $SAS'$  ma boki długości  $2x, 2y, 2x$ . Skalując ten trójkąt do trójkąta podobnego w skali  $k = \frac{3}{2}$  otrzymujemy trójkąt o bokach  $3x, 3y, 3z$ , a więc zbudowany ze środkowych trójkąta  $ABC$ .



**Rozwiązanie 25.** Funkcja signum przyjmuje wartość 1 dla argumentów dodatnich. Wyrażenie  $|f(x) - g(x)|$  jest zawsze nieujemne, a równe 0 jest tylko w przypadku równości  $f(x) = g(x)$ . Równanie **nie** jest więc spełnione przez każdą liczbę  $x$ , taką że  $f(x) = g(x)$ , czyli gdy  $x \in A$ . Spełnione jest więc dla  $x \in \mathbb{R} \setminus A$ .

**Rozwiązanie 26.** W pierwszym kroku rozłożymy liczbę 99! na czynniki. W tym celu rozważymy kolejne potęgi liczb pierwszych występujących w rozkładzie:

Potęga	Liczby	Ile?
$2^6$	64	1
$2^5$	32, 96	2
$2^4$	16, 48, 80	3
$2^3$	8, 24, 40, 56, 72, 88	6
$2^2$	4, 12, 20, 28, 36, 44, 52, 60, 68, 76, 84, 92	12
$2^1$	$2 \cdot 1, 2 \cdot 3, 2 \cdot 5, \dots, 2 \cdot 49$	25

Łącznie:  $6 \cdot 1 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 3 \cdot 6 + 2 \cdot 12 + 25 = 95$

Potęga	Liczby	Ile?
$3^4$	81	1
$3^3$	27, 54	2
$3^2$	9, 18, 36, 45, 63, 72, 90, 99	8
$3^1$	$3 \cdot 1, 3 \cdot 4, 3 \cdot 5, \dots, 3 \cdot 32$	$32 - 10 = 22$

Łącznie:  $4 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 8 + 22 = 48$

Potęga	Liczby	Ile?
$5^2$	25, 50, 75	3
$5^1$	5, 10, 15, 20, $\dots$ , 95 (bez 25, 50, 75)	$19 - 3 = 16$

Łącznie:  $2 \cdot 3 + 16 = 22$

Potęga	Liczby	Ile?
$7^2$	25, 50, 75	2
$7^1$	7, 14, 21, 28, 35, 42, 56, 63, 70, 77, 84, 91	12

Łącznie:  $2 \cdot 2 + 12 = 16$

Pozostałe liczby pierwsze występują pojedynczo i są to:

11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97. Możemy zatem napisać:  $99! = 2^{95} \cdot 3^{48} \cdot 5^{22} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 89 \cdot 97 = \dots$

Interesują nas zera na końcu więc łączymy piątki i dwójki:

$\dots = 2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 10^{22} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 89 \cdot 97$ .

Otrzymujemy więc:

$$\begin{aligned} & (2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22})^{2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22}} = \\ & = (2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97)^{2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22}} \cdot 10^{22 \cdot 2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22}}. \end{aligned}$$

Tak więc liczba ma na końcu  $22 \cdot 2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22}$  zer.

Ustalmy teraz długość tych zer:

$$\begin{array}{ccccccc} 1 \text{ cyfra} & & & & 2 \text{ mm} & = & 0,2 \text{ cm} = 0,002 \text{ m} = 0,000002 \text{ km} \\ 22 \cdot 2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22} \text{ cyfr} & & & & & & x \end{array}$$

Zatem:

$$x = 22 \cdot 2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22} \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 2^{91} \cdot 3^{48} \cdot 5^{22} \cdot 7^{16} \cdot 11^2 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 89 \cdot 97 \text{ [km]}.$$

Przyjmijmy prędkość światła  $c \approx 300000 \text{ km/s}$ . Podróż będzie trwała:

$$t = \frac{2^{91} \cdot 3^{48} \cdot 5^{22} \cdot 7^{16} \cdot 11^2 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 89 \cdot 97}{3 \cdot 10^5} \text{ [s]} = \frac{2^{91} \cdot 3^{48} \cdot 5^{22} \cdot 7^{16} \cdot 11^2 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 89 \cdot 97}{3 \cdot 10^5 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \text{ [lat]},$$

co ostatecznie po skróceniu daje

$$2^{79} \cdot 3^{44} \cdot 5^{14} \cdot 7^{16} \cdot 11^2 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 37 \cdot 41 \cdot 43 \cdot 47 \cdot 53 \cdot 59 \cdot 61 \cdot 67 \cdot 71 \cdot 79 \cdot 83 \cdot 89 \cdot 97 \text{ [lat]}.$$

Dla porównania wiek Wszechświata to niecałe  $14 \cdot 10^9$  lat.

Wyznamy teraz ostatnią niezerową cyfrę tej liczby, czyli ostatnią cyfrę liczby:

$$(2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97)^{2^{73} \cdot 3^{48} \cdot 7^{16} \cdot 11 \cdot 13 \cdot \dots \cdot 97 \cdot 10^{22}}.$$

- Kolejne potęgi liczby 2 kończą się na: 2, 4, 8, 6 – u nas wykładnik to 73, więc ostatnią cyfrą liczby  $2^{73}$  jest 2.
- Kolejne potęgi liczby 3 kończą się na: 3, 9, 7, 1 – u nas wykładnik to 48, więc ostatnią cyfrą liczby  $3^{48}$  jest 1.
- Kolejne potęgi liczby 7 kończą się na: 7, 9, 3, 1 – u nas wykładnik to 16, więc ostatnią cyfrą liczby  $7^{16}$  jest 1.
- Wśród pozostałych pojedynczo występujących liczb pierwszych: sześć kończy się cyfrą 1 – to po wymnożeniu daje ostatnią cyfrę 1 pięć kończy się cyfrą 3 – to po wymnożeniu daje ostatnią cyfrę 9, pięć kończy się cyfrą 7 – to po wymnożeniu daje ostatnią cyfrę 7, pięć kończy się cyfrą 9 – to po wymnożeniu daje ostatnią cyfrę 9 (bo na przemian 9, 1).

Po wymnożeniu wszystkiego otrzymujemy:  $2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 7 \cdot 9 = 1134$ .

Szukaną cyfrą jest więc 4.

**Rozwiązanie 27.** Zauważmy, że  $\sqrt{10} - \sqrt{6} - \sqrt{5} + \sqrt{3} = \sqrt{5} \cdot \sqrt{2} - \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} - \sqrt{5} + \sqrt{3} = \sqrt{2}(\sqrt{5} - \sqrt{3}) - (\sqrt{5} - \sqrt{3}) = (\sqrt{5} - \sqrt{3})(\sqrt{2} - 1) =: a$ .

Rozważmy teraz liczbę  $\sqrt{10} + \sqrt{6} + \sqrt{5} + \sqrt{3}$ , którą podobnie przekształcamy do  $(\sqrt{5} + \sqrt{3})(\sqrt{2} + 1) =: b$ . Zatem  $a \cdot b = 2 \cdot 1 = 2 \in \mathbb{Q}$  oraz  $a + b = 2\sqrt{10} + 2\sqrt{3}$ . Aby uzasadnić, że  $a + b \notin \mathbb{Q}$  podnieśmy ją do kwadratu:  $(a + b)^2 = 40 + 12 + 8\sqrt{30}$ . Ta liczba jest niewątpliwie niewymierna, a jak kwadrat jest niewymierny, to ta liczba tym bardziej. Z faktu, że suma dwóch liczb jest niewymierna wynika, że któraś z liczb  $a, b$  musi być niewymierna. Ale skoro iloczyn jest wymierny, to obie muszą być niewymierne (bo iloczyn wymiernej i niewymiernej byłby niewymierny<sup>2</sup>). Skoro więc obie są niewymierne, to w szczególności  $a$ , której niewymierność mieliśmy wykazać.

**Rozwiązanie 28.** Takie punkty istnieją. Rozważmy okrąg o średnicy  $AB$ . Dowolne trzy punkty leżące na półokręgu bez końców o średnicy  $AB$  wyznaczają kąt wpisany oparty na łuku dłuższym niż połowa okręgu, a zatem kąt ten jest rozwarty. Tak więc punkty te są wierzchołkami trójkąta rozwartokątnego. Podsumowując - wystarczy wybrać 2023 punkty z półokręgu bez końców.

**Rozwiązanie 29.** Wiemy, że  $(-1)^k = 1$  dla  $k$  parzystych oraz  $(-1)^k = -1$  dla  $k$  nieparzystych. Po lewej stronie mamy więc sumę naprzemienną liczb 1 oraz  $-1$ , czyli dla  $n$  parzystego wynosi ona 0, a dla  $n$  nieparzystego wynosi  $-1$ . Po prawej stronie jest analogiczny iloczyn naprzemienny. Iloczyn czterech kolejnych czynników wynosi zawsze 1. Rozpatrzmy więc 4 przypadki:

- $n = 4m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ . Wtedy  $P = 1, L = 0$  sprzeczność,
- $n = 4m + 1$ ,  $m \in \mathbb{N}$ . Wtedy  $P = -1, L = -1$  ok,
- $n = 4m + 2$ ,  $m \in \mathbb{N}$ . Wtedy  $P = -1, L = 0$  sprzeczność,
- $n = 4m + 3$ ,  $m \in \mathbb{N}$ . Wtedy  $P = 1, L = -1$  sprzeczność.

Zatem  $n = 4m + 1$ ,  $m \in \mathbb{N}$ .

<sup>2</sup>Oczywiście z małym wyjątkiem, gdyby ta wymierna była równa 0, ale wyraźnie nie jest.

**Rozwiązanie 30.** Grupując wyrazy otrzymujemy:  $(10^{2022} - 10^{2021}) + (10^{2020} - 10^{2019}) + \dots + (10^2 - 10^1)$ , a stąd następnie:  $10^{2021}(10 - 1) + 10^{2019}(10 - 1) + \dots + 10^1(10 - 1) = 9 \cdot 10^{2021} + 9 \cdot 10^{2019} + \dots + 9 \cdot 10$ . Liczba składa się więc z 2022 cyfr – na przemian występujących 9 i 0, jest zatem 1011 zer i 1011 dziewiątek. Suma cyfr wynosi  $9 \cdot 1011 = 9099$ .

**Rozwiązanie 31.** Rozważmy wielomian  $W(x) := (x - x_1)(x - x_2) \cdot \dots \cdot (x - x_n)$ . Po wymnożeniu uzyskujemy postać ogólną  $x^n + a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots + a_1x + a_0$  dla pewnych  $a_i, i \in \{0, 1, \dots, n-1\}$ . Wiemy, że suma  $P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n) = 0$ , bo w każdym składniku któryś nawias wynosi 0. Ale z drugiej strony

$$\begin{aligned} P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n) &= \\ &= x_1^n + a_{n-1}x_1^{n-1} + \dots + a_1x_1 + a_0 + x_2^n + a_{n-1}x_2^{n-1} + \dots + a_1x_2 + a_0 + \dots + x_n^n + a_{n-1}x_n^{n-1} + \dots + a_1x_n + a_0 = \\ &= (x_1^n + x_2^n + \dots + x_n^n) + a_{n-1}(x_1^{n-1} + x_2^{n-1} + \dots + x_n^{n-1}) + \dots + a_1(x_1 + x_2 + \dots + x_n) + a_0 + a_0 + \dots + a_0 = \\ &= n + na_{n-1} + na_{n-2} + \dots + na_1 + na_0 = \\ &= n(1 + a_{n-1} + a_{n-2} + \dots + a_1 + a_0) = n \cdot P(1), \end{aligned}$$

bo  $P(1)$  to suma współczynników wielomianu. Stąd  $P(1) = 0$ . Zatem

$$(1 - x_1)(1 - x_2) \cdot \dots \cdot (1 - x_n) = 0$$

$$x_1 = 1 \vee x_2 = 1 \vee \dots \vee x_n = 1.$$

Tak więc któreś  $x_i$  wynosi 1. Wstawiając je do układu równań (do każdego z równań) i przenosząc na prawą stronę otrzymujemy analogiczny układ jak wyjściowy

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + \dots + x_n = n - 1 \\ x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = n - 1, \\ \vdots \\ x_1^n + x_2^n + \dots + x_n^n = n - 1, \end{cases},$$

gdzie po lewej stronie jest już  $(n - 1)$  zmiennych.

Postępując analogicznie (w drugim kroku tworząc wielomian z  $n - 1$  nawiasami, w trzecim z  $n - 2$  nawiasami itd.) uzyskujemy  $x_1 = x_2 = x_3 = \dots = x_n = 1$ .

**Rozwiązanie 32.** Z pierwszej równości otrzymujemy  $x - y = \frac{1}{z} - \frac{1}{y} = \frac{y - z}{yz}$ , z drugiej  $y - z = \frac{1}{x} - \frac{1}{z} = \frac{z - x}{zx}$ , a z równości wyrażeń (1) i (3):  $z - x = \frac{1}{y} - \frac{1}{x} = \frac{x - y}{xy}$ .

Lewe i prawe strony są różne od 0, więc mnożymy te równości stronami:

$$\begin{aligned} (x - y)(y - z)(z - x) &= \frac{(y - z)(z - x)(x - y)}{(xyz)^2} \quad | : (x - y)(y - z)(z - x) (\neq 0) \\ 1 &= \frac{1}{(xyz)^2} \\ (xyz)^2 &= 1 \\ xyz &= 1 \vee xyz = -1 \end{aligned}$$

Zatem  $(xyz)^{2023} \in \{-1, 1\}$ .

**Rozwiązanie 33.** Pomnożmy pierwszą równość przez  $yz$ , drugą przez  $xz$ , a równość z wyrażeń (3) i (1) przez  $xy$ :

$$\begin{aligned} xyz + z &= y^2z + y \\ xyz + x &= z^2x + z \\ xyz + y &= x^2y + x. \end{aligned}$$

Dodając stronami:

$$\begin{aligned} 3xyz + x + y + z &= y^2z + z^2x + x^2y + x + y + z \quad | - (x + y + z) \quad | : xyz (\neq 0) \\ 3 &= \frac{y}{x} + \frac{z}{y} + \frac{x}{z}. \end{aligned}$$

Z nierówności między średnimi (A-G):

$$\frac{\frac{y}{x} + \frac{z}{y} + \frac{x}{z}}{3} \geq \sqrt[3]{\frac{y}{x} \cdot \frac{z}{y} \cdot \frac{x}{z}} = 1$$

a więc

$$\frac{y}{x} + \frac{z}{y} + \frac{x}{z} \geq 3.$$

Równość w powyższej nierówności zachodzi tylko gdy wszystkie liczby są równe, czyli  $\frac{y}{x} = \frac{z}{y} = \frac{x}{z}$ . Stąd  $x^2 = yz, y^2 = xz, z^2 = xy$ . Dzieląc pierwsze dwie równości przez siebie otrzymujemy  $\frac{x^2}{y^2} = \frac{y}{x}$ , a stąd  $x^3 = y^3 \Rightarrow x = y$ . Następnie z pierwszej równości mamy  $1 = \frac{z}{y}$ , skąd  $y = z$ , a więc  $x = y = z$ .

**Rozwiązanie 34.** W tej grze zawsze się przegrywa. Udowodniono to po raz pierwszy w roku 1979 i powtórzmy to rozumowanie.

Założmy, że największą liczbą w pudle jest 1. To oznacza, że wszystkie mają taki numer, więc je po kolei usuwamy.

Gdyby największy numer miała kula z napisem 2, to zauważamy, że wyrzucając jedynki nic nie dorzucamy. W pewnym momencie trzeba więc wyrzucić dwójkę i dorzucić same jedynki. Liczba jedynek wzrosła, ale dwójek zmalała. W pewnym momencie znów trzeba będzie wyrzucić dwójkę (bo gdybyśmy wyrzucali same jedynki, to w końcu się skończą) i ich liczba zmaleje. W końcu wyrzucimy więc wszystkie dwójki i zostaną same jedynki. A tu już wiemy, że przegrywamy.

Gdyby największym numerem była liczba 3, to podobnie jak powyżej, kiedyś musimy taką kulę wyrzucić (bo wyrzucając jedynki nic nie dokładamy, a wyrzucając dwójki dokładamy tylko jedynki, a liczba dwójek maleje, więc kiedyś się skończą). Liczba trójek zmaleje. W końcu wyrzucimy więc wszystkie trójki i zostaną same dwójki i jedynki – i przegrywamy.

Analogicznie rozumując z liczbami: 4, 5, 6, ... widzimy, że niezależnie od tego jaki numer ma największa kula i ile kul dorzucamy, zawsze wyrzucimy wszystkie kule i przegramy.

Aby to rozumowanie w pełni sformalizować i uściślić należy użyć zasady indukcji matematycznej:

*Dowód.* • Krok 1:  $n = 1$ . Prawda, udowodniliśmy wyżej – jeśli największy numer to 1, wyrzucamy po kolei kule jedna po drugiej, nic nie dorzucając.

- Założmy, że dla największego numeru  $n$  przegrywamy. Pokażemy, że wynika z tego przegrana dla numeru  $n + 1$ .

Niech więc największym numerem na kuli będzie  $n + 1$ . Nie możemy w nieskończoność wyrzucać kul o numerach  $n$  lub mniejszych. W pewnym momencie wyrzucimy kulę z numerem  $n + 1$ . Ale wtedy liczba takich kul zmaleje o 1. Ponownie, nie można wyrzucać ciągle kul o numerach  $n$  lub mniejszych, więc ponownie liczba kul z numerem  $n + 1$  spanie, aż w końcu największy numer to będzie  $n$ . Ale z założenia indukcyjnego wiemy, że wtedy przegrywamy.

Na mocy indukcji przegrywamy dla dowolnej maksymalnej liczby na kulach. □

### Rozwiązanie 35.

- a)  $\underline{3} \ \underline{3} \ \underline{3}$      $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$  (bo każdemu argumentowi możemy przyporządkować dowolną wartość)
- b)  $\underline{1} \ \underline{1} \ \underline{1}$      $1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$  (bo elementy ze zbioru wartości można tylko na 1 sposób ustawić w kolejności rosnącej)
- c)  $\underline{1} \ \underline{1} \ \underline{1}$      $1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$  (bo elementy ze zbioru wartości można tylko na 1 sposób ustawić w kolejności malejącej)
- d)  $\underline{3} \ \underline{1} \ \underline{1}$      $3 \cdot 1 \cdot 1 = 3$  (bo pierwszy element możemy przyporządkować dowolnie, a każdy kolejny musi być taki sam)
- e)  $\underline{3} \ \underline{2} \ \underline{1}$      $3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$  (bo każdemu argumentowi przyporządkowujemy inną wartość)
- f)  $\underline{3} \ \underline{2} \ \underline{1}$      $3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$  (bo wszystkie wartości z  $Y$  muszą być użyte, więc każdej jest przyporządkowywany różny element z  $X$ )

**Rozwiązanie 36.** Mnożąc drugie równanie przez 2 i odejmując stronami otrzymujemy

$$a^2 + b^2 + c^2 - 2a - 4b - 8c = -21$$

Grupujemy do wzorów skróconego mnożenia:

$$a^2 - 2a + 1 - 1 + b^2 - 4b + 4 - 4 + c^2 - 8c + 16 - 16 = -21$$

$$(a - 1)^2 + (b - 2)^2 + (c - 4)^2 = 0$$

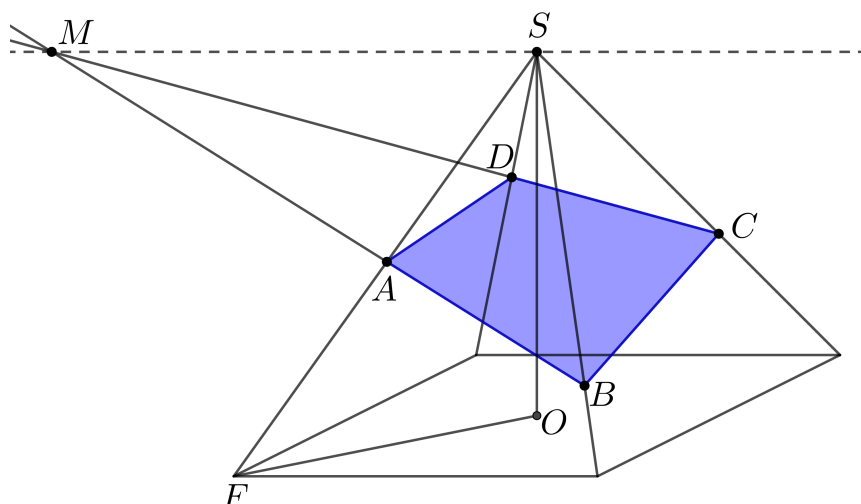
Każdy ze składników jest nieujemny, a cała suma wynosi 0. Zatem wszystkie składniki muszą być równe 0. Stąd  $a - 1 = 0, b - 2 = 0, c - 4 = 0$ , a więc  $a = 1, b = 2, c = 4$ .

**Jednak nie jest to rozwiązanie wyjściowego układu równań (!).**

Sprawdźmy wstawiając do pierwszego równania:  $L = 1^2 + 2^2 + 4^2 = 1 + 4 + 16 = 21 \neq 22$ .

Przykład ten pokazuje, że dodawanie (odejmowanie) równań stronami nie jest przejściem równoważnym, a jedynie implikacją. Równoważność otrzymamy, gdy do powstałego po odjęciu równania dodamy jedno z równań wyjściowego układu.

**Rozwiązanie 37.**



Prosta  $AB$  leży w płaszczyźnie trójkąta  $ABS$  oraz prosta  $CD$  leży w płaszczyźnie trójkąta  $CDS$ . Tak więc punkt wspólny obu prostych ( $M$ ) leży w części wspólnej obu tych płaszczyzn, czyli do prostej przechodzącej przez  $S$  i równoległej do płaszczyzny podstawy ostrosłupa. Tak więc, niezależnie od wyboru cięcia płaszczyzną  $ABCD$ , szukana odległość jest zawsze wysokością tego ostrosłupa. Wysokość tę obliczamy z tw. Pitagorasa w  $\triangle FOS$ :

$$H^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = 1$$

$$H^2 = 1 - \frac{1}{2}$$

$$H = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

**Rozwiązanie 38.** Z warunków zadania wiemy, że

- jeśli  $a \in \mathbb{Q}$ , to  $f(x) = 0$ ,
- jeśli  $b \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}$ , to  $f(x) \neq 0$ .

Część całkowita dowolnej liczby rzeczywistej jest liczbą całkowitą, a więc i wymierną. Zatem  $\forall x \in \mathbb{R} : f([x]) = 0$ . Równanie redukuje się więc do postaci  $f(\{x\}) = 0$ . Aby było ono spełnione, to  $\{x\} \in \mathbb{Q}$ , a to jest prawdą, gdy  $x \in \mathbb{Q}$ . Największym możliwym zbiorem może więc być zbiór liczb wymiernych. Wystarczy wskazać funkcję, dla której taki zbiór otrzymujemy. Łatwo sprawdzić, że dobrą funkcją jest funkcja Dirichleta, czyli:

$$D(x) := \begin{cases} 1, & x \in \mathbb{Q} \\ 0, & x \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q} \end{cases}$$

**Rozwiązanie 39.** Niech  $x$  – wiek ojca,  $y$  – wiek syna (obecnie).

Kiedys oznacza wtedy, gdy ojciec miał tyle lat ile syn ma teraz, a więc  $x - y$  lat temu.

	kiedys	teraz
Ojciec	$y$	$x$
Syn	$y - (x - y)$	$y$

Otrzymujemy układ równań

$$\begin{cases} x + y = 147 \\ x = 2(2y - x) \end{cases} \Rightarrow y = 147 - x$$

$$x = 2(294 - 3x)$$

$$7x = 588$$

$$x = 84 \Rightarrow y = 63$$

Ojciec ma 84 lata, a syn 63.

**Rozwiązanie 40.** Przekształćmy warunek z zadania:

$$\frac{f(x)}{f(y)} = \frac{x}{y}.$$

Podstawiając argumenty 1 i 2 otrzymujemy

$$\frac{f(2)}{f(1)} = \frac{2}{1} = 2,$$

skąd  $f(2) = 2f(1)$ , a więc  $f(1) < f(2)$ . Analogicznie uzyskujemy ciąg nierówności:

$$f(1) < f(2) < f(3) < \dots < f(n-1) < f(n).$$

Ponadto

$$\frac{f(n)}{f(1)} = \frac{n}{1},$$

a więc  $f(n) = n \cdot f(1) \geq n \cdot 1 = n$ , gdzie nierówność wynika z faktu, że najmniejszą wartością w przeciwwiedzinie jest 1. Ponadto skoro  $f(n) \geq n$  oraz największą wartością w przeciwwiedzinie jest  $n$ , to  $f(n) = n$ .

Następnie podstawiamy  $n$  i  $n-1$ :

$$\frac{f(n-1)}{f(n)} = \frac{n-1}{n}$$

$$\frac{f(n-1)}{n} = \frac{n-1}{n} \quad | \cdot n$$

$$f(n-1) = n-1.$$

Analogicznie dowodzimy, że  $f(n-2) = n-2, f(n-3) = n-3, \dots, f(2) = 2, f(1) = 1$ , czyli jedyną funkcją, która spełnia warunki zadania jest funkcja identycznościowa  $f(k) = k$  dla  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

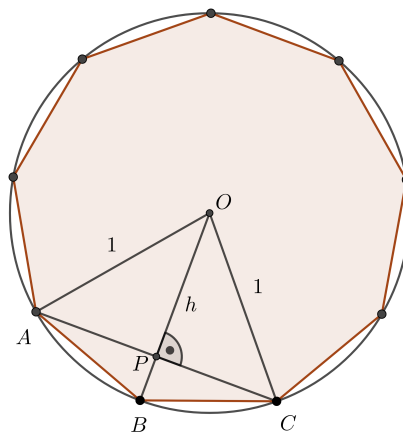
**Rozwiązanie 41.** Zapiśmy zdanie symbolicznie:

$$\forall s \in S \neq \emptyset \exists u_0 \in U(s) : (u_0 \text{ zda maturę} \Rightarrow \forall u \in U(s) : u \text{ zda maturę}),$$

gdzie  $S$  to zbiór wszystkich szkół,  $U(s)$  to zbiór uczniów w szkole  $s$ .

Weźmy dowolny element  $s \in S$ . Chcemy wskazać element  $u_0$ , który spełnia implikację  $[u_0 \text{ zda maturę} \Rightarrow \forall u \in U : u \text{ zda maturę}]$ . Jeśli w szkole  $s$  jest uczeń, który nie zda matury, to spełnia on implikację, ponieważ poprzednik jest fałszywy. Jeśli zaś takiego ucznia nie ma, to znaczy, że wszyscy zdają, a więc następnik jest prawdziwy. Tak więc całe zdanie jest prawdziwe.

**Rozwiązanie 42.**





Oznaczmy bok  $n$ -kąta foremnego przez  $x_n$ . Wtedy  $|AB| = x_{2n}$ ,  $|AP| = \frac{x_n}{2}$ . Z twierdzenia Pitagorasa w trójkącie  $APO$  otrzymujemy

$$h^2 + \frac{x_n^2}{4} = 1$$

$$h = \sqrt{1 - \frac{x_n^2}{4}},$$

a w trójkącie  $APB$ :

$$x_{2n}^2 = \frac{x_n^2}{4} + \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x_n^2}{4}}\right)^2$$

$$x_{2n} = \sqrt{\frac{x_n^2}{4} + 1 - 2\sqrt{1 - \frac{x_n^2}{4}} + 1 - \frac{x_n^2}{4}}$$

$$x_{2n} = \sqrt{2 - 2\sqrt{1 - \frac{x_n^2}{4}}}.$$

Bok kwadratu wpisanego w okrąg ma długość  $x_4 = \sqrt{2}$ , a więc

$$x_8 = \sqrt{2 - 2\sqrt{\frac{1}{2}}} = \sqrt{2 - \sqrt{2}}.$$

Dalej

$$x_{16} = \sqrt{2 - 2\sqrt{\frac{2 + \sqrt{2}}{4}}} = \sqrt{2 - \sqrt{2 + \sqrt{2}}},$$

$$x_{32} = \sqrt{2 - 2\sqrt{\frac{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}{4}}} = \sqrt{2 - \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}}$$

$$x_{64} = \sqrt{2 - 2\sqrt{\frac{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}}{4}}} = \sqrt{2 - \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}}} \approx 0,0981.$$

Zauważmy, że wielokąt foremny wraz ze wzrostem liczby boków dowolnie blisko przybliża okrąg, a zatem metody tej można użyć do obliczenia przybliżonej wartości liczby  $\pi$ . Stosując ją aż dla  $2^{62}$  ( $= 4611686018427387904$ )-kąta foremnego Ludolph van Ceulen na przełomie XVI i XVII wieku wyznaczył liczbę  $\pi$  z dokładnością do 35 miejsc po przecinku. Od jego nazwiska  $\pi$  nazywa się często *ludolfiną*.

### Rozwiązanie 43. Sposób I

Zauważmy, że jeśli  $a = 0$ , to  $b = 0$  oraz analogicznie jeśli  $b = 0$ , to  $a = 0$ . Załóżmy więc, że  $a, b \neq 0$ . Prawa strona jest parzysta, a więc lewa też. Stąd  $a$  jest parzyste, czyli jest postaci  $2k$ ,  $k \in \mathbb{N}_+$ . Dostajemy

$$4k^2 = 2b^2.$$

Po podzieleniu przez 2 mamy lewą stronę parzystą i analogicznie uzyskujemy, że  $b$  jest parzyste. Załóżmy teraz, że  $(a_0, b_0)$  to najmniejsze<sup>3</sup> rozwiązanie. Ale para  $(\frac{a_0}{2}, \frac{b_0}{2})$  jest mniejsza oraz też jest rozwiązaniem równania. Sprzeczność z minimalnością  $(a_0, b_0)$ . Zatem jedynym rozwiązaniem jest  $(a, b) = (0, 0)$ .

### Sposób II

Rozwiązanie  $(0, 0)$  uzyskujemy analogicznie jak wyżej. Przy założeniu  $a, b \neq 0$  dzielimy równanie przez  $b^2$  i mamy kolejno:

$$\frac{a^2}{b^2} = 2$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^2 = 2$$

$$\frac{a}{b} = \sqrt{2}$$

Sprzeczność, bo przedstawiliśmy  $\sqrt{2}$  w postaci ułamka zwykłego.

<sup>3</sup>na przykład w tym sensie, że suma  $a + b$  jest najmniejsza

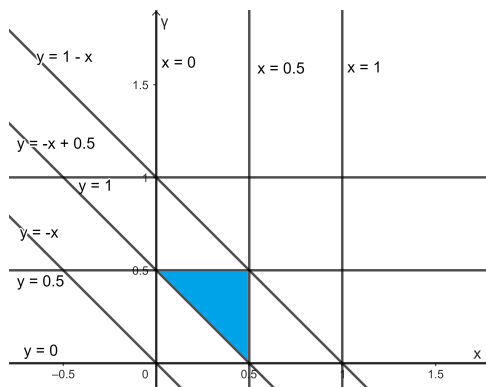
**Rozwiązanie 44.** Zauważmy, że  $n$ -ty wyraz składa się z  $(1 + 2 + 3 + \dots + (n-1) + n) = \frac{n(n+1)}{2}$  dwójek oraz takiej samej liczby piątek. Suma cyfr wynosi więc  $2 \cdot \frac{n(n+1)}{2} + 5 \cdot \frac{n(n+1)}{2} = 7 \cdot \frac{n(n+1)}{2}$ .

- Liczba ta będzie podzielna przez 3, gdy  $(3 \mid n) \vee (3 \mid n+1)$ . Zatem  $n = 3k \vee n = 3k-1$ ,  $k \in \mathbb{N}_+$ . Zatem przez 3 dzielą się wszystkie wyrazy z wyjątkiem tych o numerach, które przy dzieleniu przez 3 dają resztę 1.
- Liczba ta będzie podzielna przez 9, gdy  $(9 \mid n) \vee (9 \mid n+1) \vee [(3 \mid n) \wedge (3 \mid n+1)]$ . Ostatni przypadek jest w oczywisty sposób sprzeczny. Zatem  $n = 9k \vee n = 9k-1$ ,  $k \in \mathbb{N}_+$ . Zatem przez 9 dzielą się wyrazy o numerach podzielnych przez 9 oraz te, których numery przy dzieleniu przez 9 dają resztę 8.
- Skoro  $n$ -ty wyraz składa się z  $\frac{n(n+1)}{2}$  dwójek oraz  $\frac{n(n+1)}{2}$  piątek, to liczba jego cyfr to  $2 \cdot \frac{n(n+1)}{2} = n(n+1)$ .

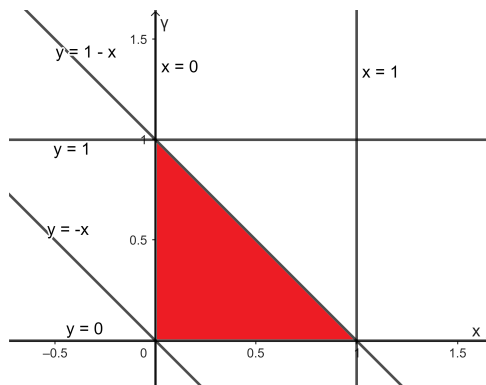
**Rozwiązanie 45.** Oznaczmy długości dwóch kawałków przez  $x$  oraz  $y$ . Wtedy trzeci kawałek jest długości  $1-x-y$ . Aby z tych odcinków zbudować trójkąt musi zachodzić 6 poniższych warunków (trzy pierwsze, aby istniały odcinki, trzy kolejne to nierówności trójkąta):

$$\begin{cases} 0 < x < 1 \\ 0 < y < 1 \\ 0 < 1-x-y < 1 \\ x+y > 1-x-y \\ x+1-x-y > y \\ y+1-x-y > x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x \in (0, 1) \\ y \in (0, 1) \\ y < 1-x \wedge y > -x \\ y > -x + \frac{1}{2} \\ y < \frac{1}{2} \\ x < \frac{1}{2} \end{cases}$$

Zbiór ten odpowiada niebieskiemu trójkątowi



Wszystkie możliwe długości odcinków definiują trzy pierwsze warunki, a więc obszar czerwony



Szukane prawdopodobieństwo to więc  $\frac{P_{\text{niebieskie}}}{P_{\text{czerwone}}} = \frac{1}{4}$ .